

Análisis de ciclos fusión-solidificación de ceras de parafina

Alejandro Reyes¹, José Vásquez², Francisco Sepúlveda³

¹ Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Santiago de Chile, alejandro.reyes@usach.cl

² Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Santiago de Chile, jose.vasquezf@usach.cl

³ Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Santiago de Chile, francisco.sepulveda.p@usach.cl

Recibido: 15-08-2015. Aceptado después de revisión: 30-08-2015

Resumen: El déficit mundial de energías renovables ha motivado la búsqueda de alternativas que permitan acumular energías renovables, entre ellas la energía solar. La cera de parafina es un material con cambio de fase (PCM) que permite acumular energía aprovechando que su temperatura de fusión se encuentra entre 40 y 65 °C, dependiendo de su composición. Sin embargo, no existe suficiente información del comportamiento de la cera después de un elevado número de ciclos fusión/solidificación. En el presente trabajo se diseñó e implementó un sistema fusión- solidificación de cera de parafina, junto con un sistema de adquisición de datos para analizar ciclos de fusión y solidificación y perfiles de temperatura en función del tiempo. La cera se calentó y enfrió en una celda Peltier, diseñada para producir cambios de fase sólido-líquido. Se analizaron 2 tipos de cera, durante 1000 ciclos. Los resultados permitieron analizar los periodos y amplitudes de cada ciclo. El tiempo de ciclo para la cera PT 58 y PT Ch fueron 340 y 160 segundos respectivamente. Las ceras estudiadas no mostraron diferencias significativas en sus perfiles de temperatura, durante los ciclos estudiados, por lo que las ceras no sufren cambios químico-estructurales después de los ciclos analizados.

Palabras claves: cera de parafina, ciclos fusión-solidificación, energía solar, material de cambio de fase.

Abstract: The global energy shortage has prompted for research of accumulate renewable energy alternatives, i.e., solar energy. Paraffin wax has a Phase Change Material (PCM) which allows to accumulate energy. Depending on their physical composition the melting temperature could be between 40° and 65° C, respectively. However, there is lack of information regarding the wax's material characteristics after high number of cycles. Therefore, in the present work, a paraffin wax fusion/solidification system was designed and it further implemented. It was also used a data recording system to analyze melting, solidification cycles, and temperature profiles in the time domain. The wax was heated and cooled in a Peltier cell. Two types of wax were analyzed for about 1000 cycles. It was analyzed periods and amplitudes of each cycle. The time cycle for PT 58 and PT Ch wax were 340 and 160 seconds, respectively. Finally, the results showed that the temperature profiles have no significant differences, this means that the waxes do not undergo chemical or structural changes.

Keywords: melting-solidification cycles, paraffin wax, phase change material, solar energy.

1. Introducción

Almacenamiento de energía térmica (TES) es el almacenamiento temporal de energía para su posterior utilización, con lo cual se cierra la brecha de tiempo entre las necesidades de energía y el uso de la energía. Sistemas TES contribuyen al uso eficaz de la energía: intensidad máxima de demanda eléctrica, recuperación de calor, utilización de la energía solar y el almacenamiento estacional. El almacenamiento térmico se clasifica como almacenamiento de calor sensible, latente (el cual acumula la energía durante la fusión) y como una combinación de éstos. Las ventajas del sistema de almacenamiento de calor latente son: alta densidad de calor de almacenamiento, un reducido tamaño de sistema y un mínimo cambio de temperatura durante la carga y descarga de los procesos [1].

Los PCM absorben o liberan el calor latente durante el proceso de fusión/solidificación [2]. Estos han recibido una alta atención en los últimos años para diversas aplicaciones tales como: recuperación de calor de desecho, sistema de calefacción solar y conservación de energía en edificios. Los PCM se agrupan en dos categorías: orgánicos e inorgánicos. Las ventajas de un material orgánico son: se puede fundir y solidificar numerosas veces sin segregación de fases y sin alterar su calor latente de fusión [3].

En los últimos años, diversas publicaciones informan el empleo de PCM en sistemas que utilizan la energía solar para el secado de productos agrícolas [4]. Las ventajas de estos sistemas en comparación con el almacenamiento de calor sensible es que poseen una mayor densidad de energía almacenada y una menor diferencia de temperatura operativa [5], [6].

La elección del PCM más apropiado debería considerar: costo, conductividad térmica, tanto en la fase líquida como sólida, capacidad de almacenamiento y temperatura de cambio de fase [7]. Hasta ahora, un gran número de PCM tales como sales hidratadas, parafinas, ácidos grasos y sus mezclas han sido ampliamente investigados [8], [9]. Para el secado solar de agro-productos, las parafinas son comúnmente utilizados como PCM [10], debido a su temperatura de fusión, alta capacidad de calor latente, buena estabilidad química y térmica, no es tóxica ni corrosiva [11].

Para aumentar la conductividad térmica de la cera de parafina, se ha estudiado la encapsulación del PCM en geometrías cilíndricas con o sin aletas, placas, o cápsulas esféricas. La geometría esférica parece ofrecer una serie de ventajas que lo ubica entre los métodos más efectivos de encapsulación [12], [13].

2. Materiales, fuentes y métodos

La Figura 1 muestra el montaje experimental para evaluar los ciclos de la cera de parafina. Se utilizaron 2,3g de cera de parafina, que fue introducida en un recipiente cilíndrico de aluminio, sobre una lámina de cobre, la que aumenta la conductividad térmica entre el recipiente y la celda peltier. La celda se ubica sobre un bloque de aluminio refrigerado con agua, el cual se encuentra dentro de un recipiente de acero inoxidable con dos disipadores de calor, el agua es impulsada por una bomba sumergible. Este sistema de refrigeración tiene por finalidad mantener una de las caras de la celda peltier a una temperatura uniforme durante todo el proceso de la medición, además el recipiente de aluminio fue cubierto con un aislante térmico de lana de vidrio para impedir la influencia del cambio de la temperatura ambiente a lo largo del proceso.

La Figura 2 representa el algoritmo para realizar los ciclos de calentamiento y enfriamiento programado a través del software computacional MATLAB con Arduino, el cual registra la temperatura a través de una termocupla, y actúa sobre los relé, los cuales están conectados a una fuente de alimentación eléctrica. Cuando el peltier calienta la cera, al llegar a los 58°C el relé invierte la polaridad de la fuente de alimentación enfriando la cera hasta alcanzar los 40°C, donde se vuelve a cambiar la polaridad, para calentar nuevamente la cera y así realizar un nuevo ciclo.

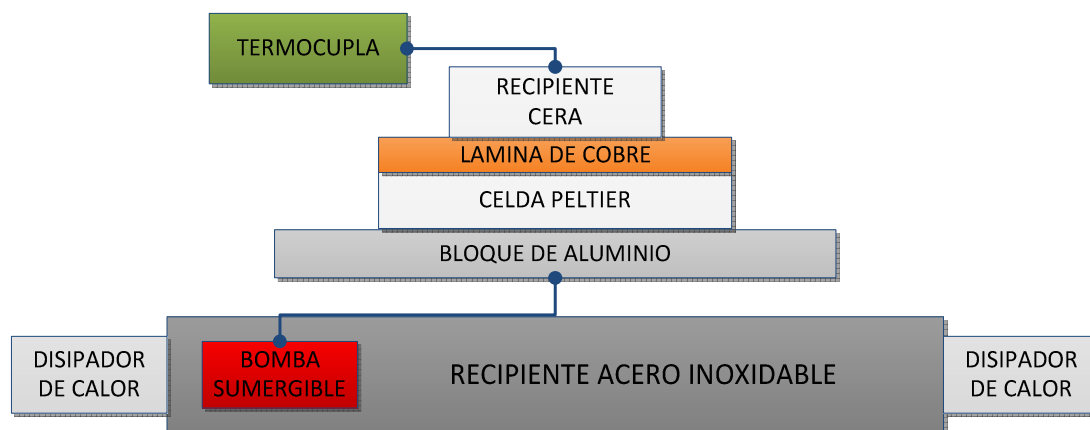


Figura 1. Montaje experimental.

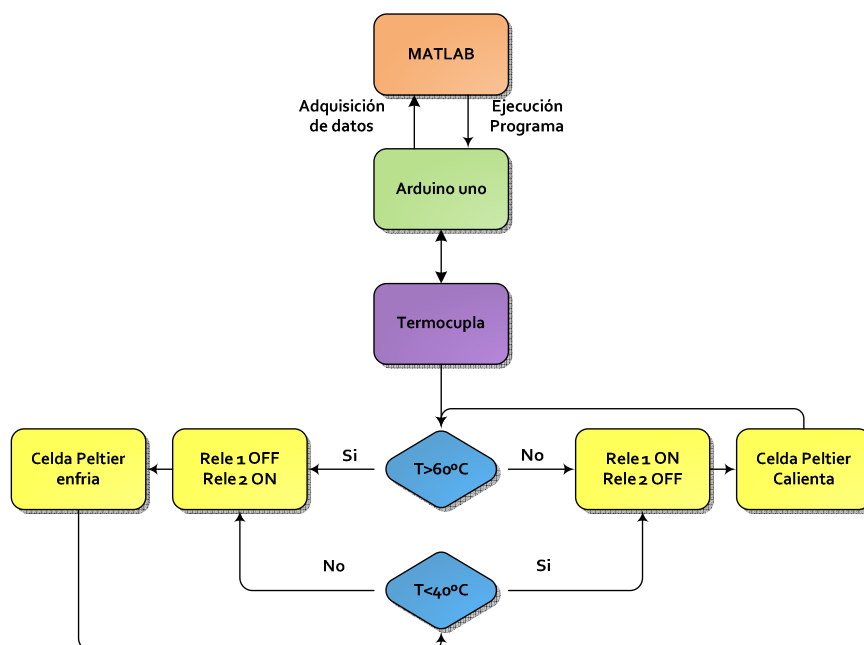


Figura 2. Diagrama algoritmo de programación.

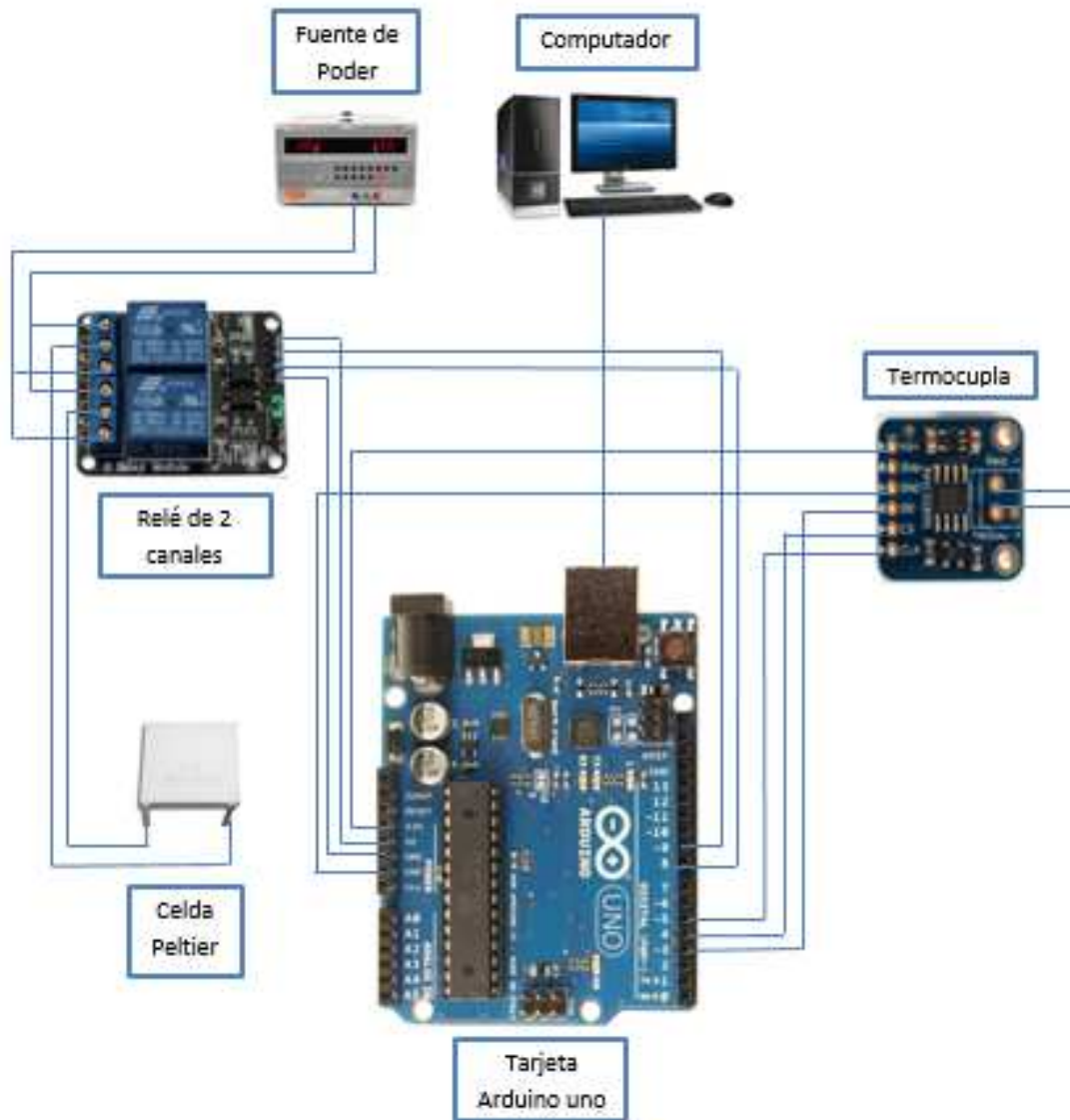


Figura 3. Diagrama de conexiones.

El esquema de la Figura 3 muestra las conexiones de los dispositivos utilizados, los cuales son: fuente de poder, relé, termocupla, celda peltier y tarjeta Arduino Uno. La Figura 4(a) muestra la termocupla Max31855 tipo K utilizada para la medición de la temperatura de la cera, la cual trabaja con 3,3V. La Figura 4(b) muestra la fuente de alimentación utilizada, modelo HY3003 cuyo voltaje de salida se ajusta entre 0 y 30V. Esta fuente de poder alimenta la celda peltier. La Figura 4(c) muestra la celda peltier utilizada, la cual enfría o calienta el recipiente con la cera de parafina.

Se utilizó un relé de 2 canales (Figura 4(d)) modelo SRD-05VDC SL-C, el cual tiene como función invertir la polaridad del flujo de corriente y así la dirección del flujo de calor, permitiendo que la celda peltier caliente o enfrie la cera.

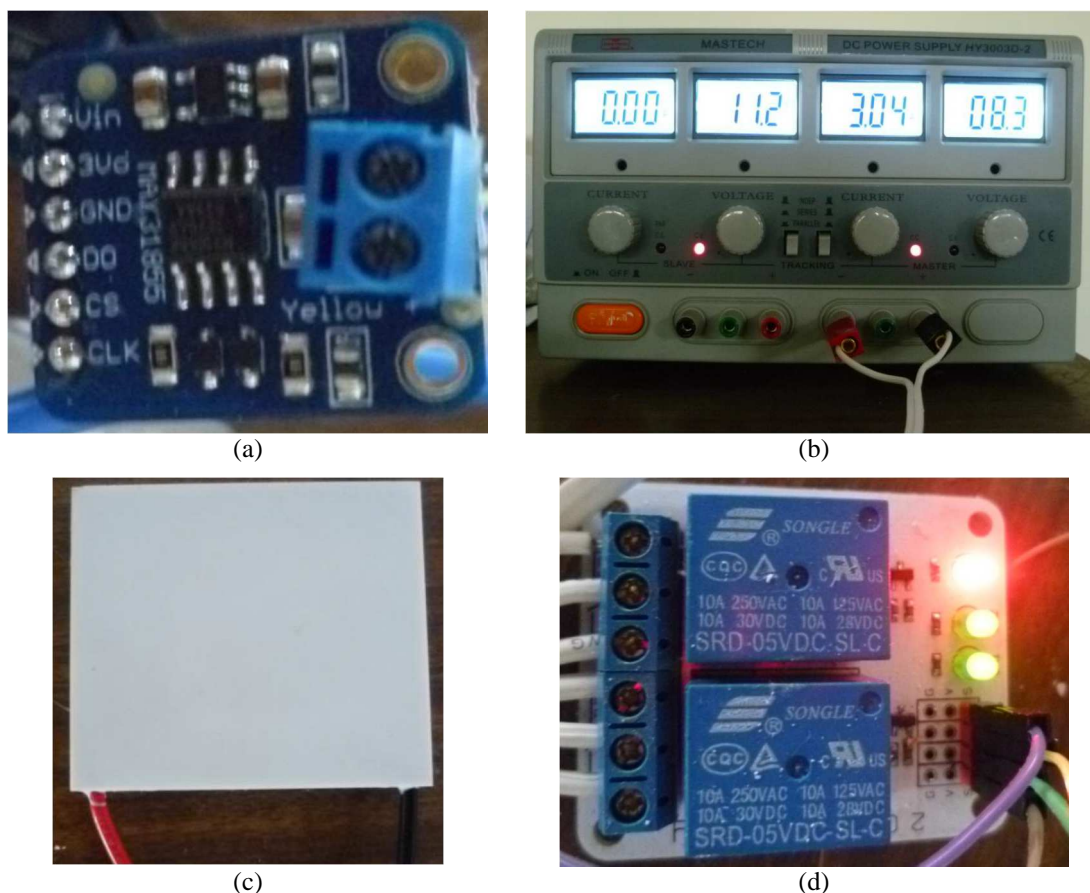


Figura 4. (a) Termocupla Max31855; (b) Fuente de alimentación modelo HY3003; (c) Celda Peltier; (d) Relé modular 2 canales.

3. Resultados y discusiones

Considerando que anualmente los equipos de almacenamiento de energía solar son utilizados por un periodo entre 150-200 días por año, se estableció arbitrariamente el análisis de 1000 ciclos de fusión-solidificación para cada cera, estimando una vida útil del equipo de almacenamiento de al menos 5 años. La adquisición de datos para el análisis de las ceras PT Ch y PT 58, se realizó en forma discreta a través del programa computacional MATLAB. Para ambas muestras de cera se utilizaron 2,3g de material y la celda peltier fue alimentada a 9V.

La Figura 5(a) a modo de ejemplo, muestra algunos ciclos de trabajo observándose el comportamiento característico del fenómeno fusión-solidificación de la cera de parafina PT Ch, distinguiéndose en la mayoría de los ciclos 3 temperaturas importantes de analizar (temperatura pic, temperatura valle, temperatura de cambio de fase). La temperatura pic alcanzada es de 64,5°C, mientras que las temperaturas valle es 38°C. En el periodo de solidificación se aprecia el cambio de fase líquido-sólido en un rango de temperatura de 58°C a 56°C. También se puede observar, que en estado sólido, el aumento de temperatura es más lento que en estado líquido. Para calcular los tiempos de fusión y solidificación, se tomaron los puntos pic y valle de cada ciclo.

La Figura 5(b) muestra el comportamiento característico del fenómeno fusión-solidificación de la cera de parafina PT 58 para la mayoría de los ciclos que se realizaron,

para éste, la temperatura pic es de 63°C , mientras que la temperatura valle es aproximadamente 39°C y para el periodo de solidificación se aprecia el cambio de fase liquido-sólido a diferencia de la cera PT Ch éste ocurre a una temperatura constante de 56°C , la cual se mantuvo constante durante todo el proceso. Esta diferencia se debe a que la cera PT 58 es más pura que la cera PT Ch, teniendo solo un punto de fusión.

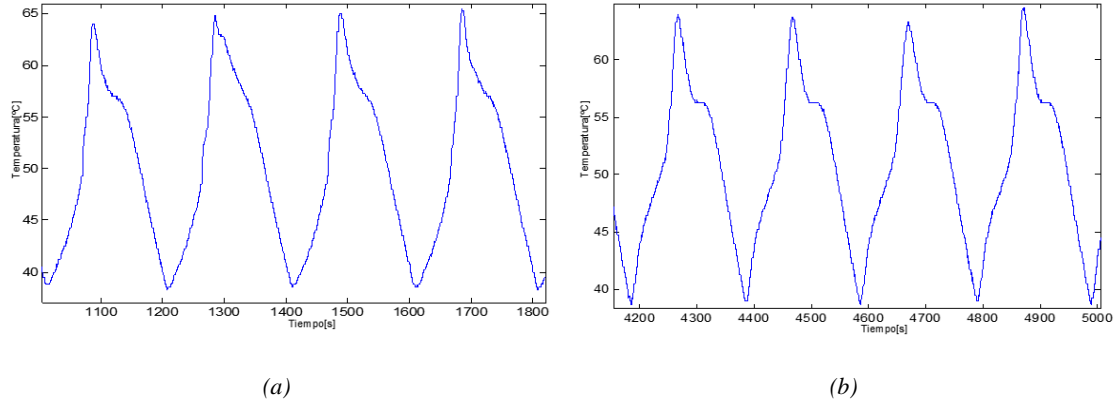


Figura 5. Ciclo fusión-solidificación de la cera de parafina. (a) Cera PT Ch; (b) Cera PT 58.

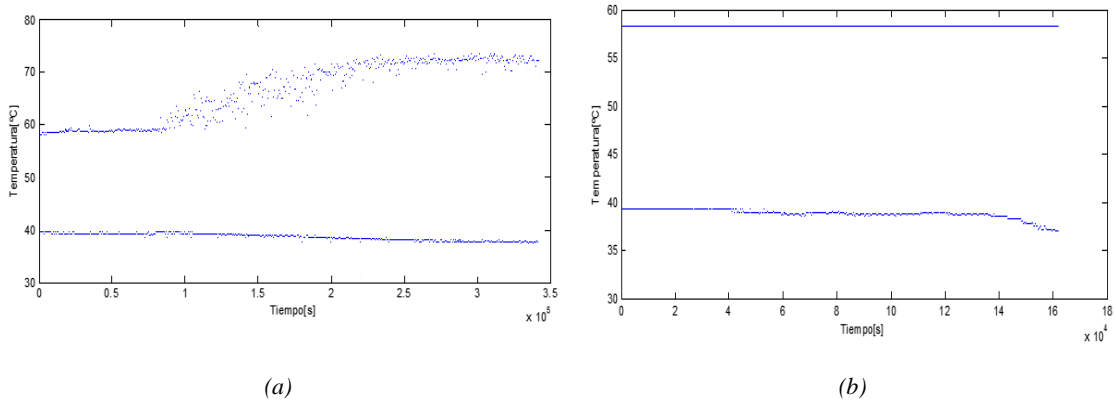


Figura 6. Amplitud de ciclos de la cera de parafina. (a) Cera PT Ch; (b) Cera PT 58.

La Figura 6 muestra la amplitud (temperaturas pic y valle) de los 1000 ciclos para cada cera. Para la cera PT 58 la amplitud permanece constante para la mayoría de los ciclos, mientras que para la cera PT Ch la amplitud se incrementa a medida que transcurren los ciclos.

La Figura 7 muestra los tiempos de los 1000 ciclos para cada cera. El tiempo para la cera PT Ch se incrementa a medida que pasan los ciclos debido al aumento en la amplitud de los ciclos. El tiempo de ciclo de la cera PT 58 se estabiliza aproximadamente a los 300 ciclos, promediando un tiempo de ciclo de 150 segundos.

La Figura 8(a) muestra los tiempos de fusión y solidificación para los 1000 ciclos de la cera PT Ch, donde los tiempos de fusión son mayores que los tiempos de solidificación, al igual que para la cera PT 58 (Figura 8(b)). Los tiempos de fusión y solidificación de la cera PT Ch aumentan a medida que transcurren los ciclos, de igual manera como lo hace el tiempo de ciclo expuesto en la Figura 7.

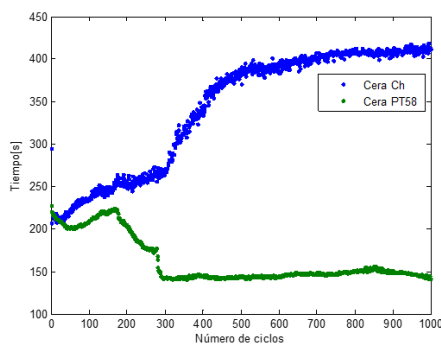
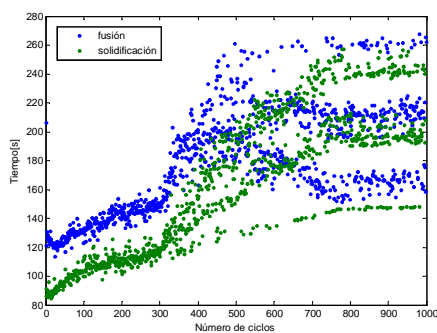
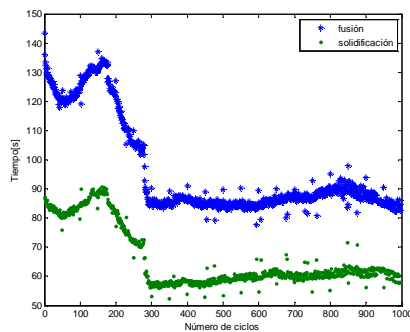


Figura 7. Tiempos de ciclos cera de parafina PT Ch y PT 58.

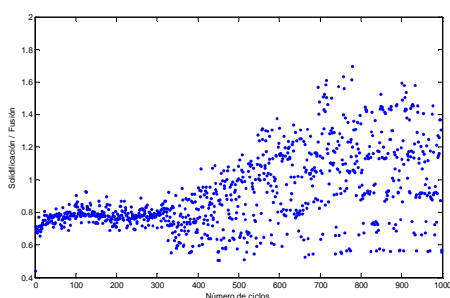


(a)

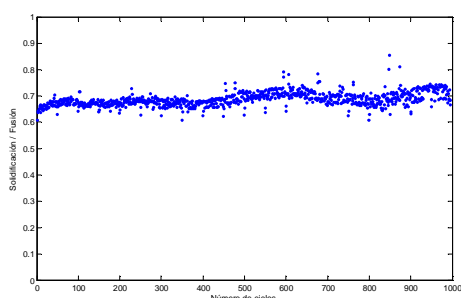


(b)

Figura 8. Tiempo fusión- solidificación. (a) Cera PT Ch; (b) Cera PT 58.



(a)



(b)

Figura 9. Cociente Solidificación/fusión. (a) Cera PT Ch; (b) Cera PT 58.

La Figura 8 muestra los tiempos de fusión y solidificación para los 1000 ciclos, para ambas ceras los tiempos de fusión son mayores que los tiempos de solidificación. Para la cera PT 58 el tiempo de fusión y solidificación se estabiliza alrededor de los 300 ciclos, con tiempos de 90 y 60 segundos respectivamente.

La Figura 9 muestra el cociente solidificación/fusión para cada ciclo de la cera PT58 y PT Ch. Para la cera PT 58 el cociente solidificación/fusión permanece constante para los 1000 ciclos, el cual tiene un valor aproximado de 0,7. En tanto para la cera PT Ch este valor permanece constante durante los primeros 300 ciclos, en este periodo tiene un valor aproximadamente de 0,8.

Tabla 1. Resumen de resultados.

Tipo de cera	Unidad	PT58	China
Temperatura de fusión	°C	56	58-56
Tiempo de ciclo	s	162,1±26,9	342,2±71,1
Tiempo fusión	s	96,2±16,7	179,3±36,2
Tiempo solidificación	s	66,0±10,4	163,2±48,6
Cociente solidificación/fusión	s/s	0,688±0,025	0,914±0,233

La Tabla 1 muestra en resumen los resultados obtenidos para los 1000 ciclos de cada cera, en la cual se muestra el promedio de los tiempos de ciclo, fusión y solidificación y el cociente entre el tiempo de solidificación y fusión.

4. Conclusiones

La cera PT58 es más pura que la cera PTCh, teniendo solo un punto de fusión a 56°C, la que se mantuvo constante durante todos los ciclos. El tiempo de ciclo promedio de la cera PT58 y PT Ch es 160 y 340 segundos respectivamente. El cociente entre el tiempo de solidificación y fusión promedio es de 0,7 y 0,9 para las ceras PT 58 y PT Ch respectivamente. Con éste trabajo es posible medir la vida útil de diferentes tipos de cera u otros materiales de cambio de fase, medir sus tiempos de ciclos fusión y solidificación. En resumen, ninguna de las ceras analizadas mostró variaciones en los 1000 ciclos analizados

Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento de CONICYT a través de Proyecto Fondecyt 1110101.

Referencias

- [1] W.Shuangmao, «Dynamic discharging characteristics simulation on solar heat storage system with spherical capsules using paraffin as heat storage material», *Renewable Energy*, vol. 36, pp.1190-1195, 2011.
- [2] Y. Dutil, D. Rousse, N. Salah, S. Lassue y L. Zalewski, «A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp.112-130, 2011
- [3] A. Trp, «An experimental and numerical investigation of heat transfer during technical grade paraffin melting and solidification in a shell-and-tube latent thermal energy storage unit», *Solar Energy*, vol. 79, pp. 648-660, 2005.
- [4] E. Halawa, F. Bruno y W. Saman, «Numerical analysis of a PCM thermal storage system with varying wall temperature», *Energy Conversion and Management*, vol. 46, pp. 2592-2604, 2005.
- [5] B. Zalba, J. Marín, L. Cabeza y H. Mehling, «Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications», *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 251-283, 2003.

- [6] M. Farid, A. Khudhair, S. Razack y S. Al-Hallaj, «A review on phase change energy storage: materials and applications», *Energy Conversion and Management*, vol. 45, pp.1597-1615, 2004.
- [7] R. Ehid y A.Fleischer, «Development and characterization of paraffin-based shape stabilized energy storage materials», *Energy Conversion and Management*, vol. 53, pp. 84-91, 2012.
- [8] C. Zhao, W. Lu, y Y. Tian, «Heat transfer enhancement for thermal energy storage using metal foams embedded within phase change materials (PCMs) », *Solar Energy*, vol. 84, pp.1402-1412, 2010.
- [9] J. Wang, H. Xie, Z. Xin, Y Li, y L. Chen, «Enhancing thermal conductivity of palmitic acid based phase change materials with carbon nanotubes as fillers», *Solar Energy*, vol 84, pp. 339-344, 2010.
- [10] S. Niggol, «Evaluation of the Agro-Ecological Zone methods for the study of climate change with micro farming decisions in sub-Saharan Africa», *European Journal of Agronomy*, vol. 52, pp.157-165, 2014.
- [11] A. Trigui, M. Karkri, y I. Krupa, «Thermal conductivity and latent heat thermal energy storage properties of LDPE/wax as a shape-stabilized composite phase change material», *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp.586-596, 2014.
- [12] T. Kousksou, J. Bédécarrats, J. Dumas y A. Mimet, «Dynamic modelling of the storage of an encapsulated ice tank», *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, pp.1534-1548, 2005.
- [13] S. Thapa, S. Chukwu, A. Khaliq, y L. Weiss, «Fabrication and analysis of small-scale thermal energy storage with conductivity enhancement», *Energy Conversion and Management*, vol. 79, pp.161-170, 2014.